DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160549

李超, 刘洋, 陈恺林, 何洋, 杨坚, 汤文光, 周学其, 张玉烛. 灌溉方式对优质晚稻田褐飞虱及黑肩绿盲蝽迁入及迁出的影响——湖南省益阳市个例分析[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1): 86−94

Li C, Liu Y, Chen K L, He Y, Yang J, Tang W G, Zhou X Q, Zhang Y Z. Effect of irrigation method on in-out migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Cyrtorrhinus livdipennis* (Reute) of high-quality late rice field: A case study of Yiyang, Hunan Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(1): 86−94

灌溉方式对优质晚稻田褐飞虱及黑肩绿盲蝽迁入及迁出的影响*

——湖南省益阳市个例分析

李 超[1,2,3], 刘 洋[2], 陈恺林[2], 何 洋[2,3], 杨 坚[2,3], 汤文光[1], 周学其[4], 张玉烛[2**]

(1. 湖南省土壤肥料研究所 长沙 410125; 2. 湖南省水稻研究所 长沙 410125; 3. 湖南农业大学农学院 长沙 410128; 4. 益阳市赫山区农业局 益阳 413002)

摘 要: 黑肩绿盲蝽是褐飞虱的重要天敌之一, 且具有明显伴迁现象。研究灌溉方式对优质晚稻田褐飞虱及黑肩绿盲蝽的迁入及迁出, 可为优质晚稻田褐飞虱的综合防治提供理论与技术支撑。本试验设置半隔离与全隔离两种隔离方式, 研究长期灌溉、湿润灌溉、间歇灌溉及非充分灌溉对优质晚稻田褐飞虱及黑肩绿盲蝽迁入及迁出的影响。结果表明: 不同年份, 优质晚稻田褐飞虱及黑肩绿盲蝽的迁入及迁出差异较大, 2015 年, 由于晚稻生育中后期气温低及降雨频繁, 各灌溉处理下的褐飞虱及黑肩绿盲蝽均未发生迁入。2014 年, 晚稻生育中后期温度较高, 褐飞虱及黑肩绿盲蝽发生迁飞。从迁入情况来看, 非充分灌溉下褐飞虱发生早、基数大导致迁入量最低; 间歇灌溉的迁入比(迁入量/迁入时段种群增加量)最大; 非充分灌溉及湿润灌溉下黑肩绿盲蝽的迁入时期早于其他灌溉方式 8 d 左右。从迁出情况看, 长期灌溉下褐飞虱发生外迁的时期早于其他灌溉方式 11 d 左右; 间歇灌溉的褐飞虱迁出量最大, 湿润灌溉的迁出比(迁出量/迁出时段种群消减量)最大; 非充分灌溉下黑肩绿盲蝽的迁出量及迁出比均最大。表明非充分灌溉虽然减少了褐飞虱的迁入, 但迁入前褐飞虱的种群增加量要远大于其他灌溉方式的迁入量, 且会促进天敌黑肩绿盲蝽的外迁, 增加了褐飞虱大发生的风险, 不利于褐飞虱的综合防治; 长期灌溉能有效降低褐飞虱的迁入及天敌黑肩绿盲蝽的外迁; 湿润灌溉及间歇灌溉会促进褐飞虱的外迁, 同时, 间歇灌溉会显著(P<0.05)减少天敌黑肩绿盲蝽的外迁。

关键词: 灌溉方式; 晚稻; 褐飞虱; 黑肩绿盲蝽; 迁入; 迁出

中图分类号: S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2017)01-0086-09

Effect of irrigation method on in-out migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Cyrtorrhinus livdipennis* (Reute) of high-quality late rice field: A case study of Yiyang, Hunan Province*

LI Chao[1,2,3], LIU Yang[2], CHEN Kailin[2], HE Yang[2,3], YANG Jian[2,3], TANG Wenguang[1], ZHOU Xueqi[4], ZHANG Yuzhu[2**]

(1. Hunan Soil and Fertilizer Research Institute, Changsha 410125, China; 2. Hunan Rice Research Institute, Changsha 410125, China;

* 国家科技支撑计划重大项目(2013BAD07B11)和公益性行业(农业)科研专项经费(201503118)资助
** 通讯作者: 张玉烛, 主要从事水稻高产、高效和绿色栽培研究。E-mail: yuzhuzhang@hotmail.com
李超, 主要从事水稻绿色栽培及高产高效栽培研究。E-mail: hnchaoli0419@163.com
收稿日期: 2016-06-19 接受日期: 2016-09-07

* Founded by the Important Project of National Key Technology R&D Program of China (2013BAD07B11) and the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest of China (201503118)
** Corresponding author, E-mail: yuzhuzhang@hotmail.com
Received Jun. 19, 2016; accepted Sep. 7, 2016

3. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 4. Heshan District Farm Bureau, Yiyang City, Yiyang 413002, China)

Abstract: *Cyrtorrhinus livdipennis* (Reute) is one of natural enemies of *Nilaparvata lugens* (Stål), which more importantly has a clear accompanying migration pattern. The study of the effects of irrigation method on the in-and-out migration of *N. lugens* and *C. livdipennis* of high-quality late rice field could provide theoretical and technical support for an integrated control of *N. lugens* and reduce the use of chemical pesticides in cultivation. This experiment designed two isolation (semi-isolation and fully-isolation) modes to study the effects of deficit irrigation, wet irrigation, intermittent irrigation and long-term irrigation on immigration of *N. lugens* and *C. livdipennis* in high-quality late rice fields in 2014–2015. The results showed a significant difference on immigration and emigration of *N. lugens* and *C. livdipennis* in high-quality late rice fields between two years. There was no *N. lugens* and *C. livdipennis* immigration under all irrigation treatments in 2015 due to low temperatures and frequent rainfalls during mid to late growth stages of late rice. However, with higher temperatures in 2014, there was a significant migration. Based on the state of immigration, *N. lugens* immigration was lowest under deficit irrigation, which occurred early with a large base number, and was only 0.6% of that of intermittent irrigation. The intermittent irrigation had the largest number of immigration. Immigration rate (immigration number divided by increase in immigration number) of *N. lugens* under intermittent irrigation was 19.4, 1.4 and 3.4 times that of deficit, wet and long-term irrigation, respectively. The time of *C. livdipennis* immigration under deficit irrigation and wet irrigation was 8 days earlier than that under the other methods of irrigation. Based on the state of emigration, the time of *N. lugens* emigration under long-term irrigation was 11 days earlier than the other modes of irrigation. The largest number of *N. lugens* emigration under intermittent irrigation was 1.4, 1.1 and 5.8 times that of deficit, wet and long-term irrigation, respectively. The emigration rate (emigration number divided by decrease in emigration number) under wet irrigation was 1.3, 1.1 and 1.8 times that of deficit, intermittent and long-term irrigation, respectively. The number of *C. livdipennis* emigration in deficit irrigation increased by 102.9%, 127.2% and 1709.1% compared with wet, intermittent and long-term irrigation whereas emigration rate increased by 7.0%, 83.4% and 49.7%, respectively. Therefore, deficit irrigation reduced immigration of *N. lugens*, but increased the population of *N. lugens* before immigration compared with other irrigation methods. It simultaneously promoted emigration of enemy *C. livdipennis*, which increased the risk of *N. lugens* outbreak and control difficulty of *N. lugens*. Long-term irrigation effectively prevented *N. lugens* from immigration and enemy *C. livdipennis* from emigration. Wet and intermittent irrigation simultaneously promoted *N. lugens* emigration, while intermittent irrigation significantly reduced emigration of enemy *C. livdipennis* ($P < 0.05$).
Keywords: Irrigation method; Late rice; *Nilaparvata lugens* (Stål); *Cyrtorrhinus livdipennis* (Reute); Immigration; Emigration

黑肩绿盲蝽[*Cyrtorrhinus livdipennis* (Reute)]是东南亚水稻(*Oryza sativa* L.)主要害虫褐飞虱[*Nilaparvata lugens* (Stål)]的重要捕食性天敌[1]，黑肩绿盲蝽与褐飞虱有明显的伴迁现象[2]。前人从气候变暖[3-4]、台风[5]、大气环流[6]、温湿度[7-9]等方面对稻飞虱及黑肩绿盲蝽迁飞开展了大量研究。齐会会等[10-11]通过灯捕法发现黑肩绿盲蝽在灯下的始见期迟于褐飞虱，始见期后，其在灯下的种群动态基本同步于褐飞虱，通过毫米波扫描昆虫雷达发现褐飞虱在华南稻区具有晨昏双峰的迁飞规律，黎明的起飞数量低于黄昏的起飞数量；夏季迁飞高度主要在 400~1 800 m，有时达 2 000 m，秋季的迁飞高度主要在 300~1 100 m，有时达 1 700 m；褐飞虱具有聚集成层的现象，成层现象与风速有极大关系；夏季迁飞时褐飞虱雌虫多于雄虫，秋季迁飞时雄虫多于雌虫。秦小娃等[12]综述了以降低稻田生态系统脆弱性为主旨的褐飞虱综防措施，包括丰产控害栽培防治、高效低毒的化学药剂防治、物理防治、生物防治以及饱和生态位调控防治。肥水管理是丰产控害栽培防治的重要内容，高氮肥会显著增加褐飞虱的致害力，提高褐飞虱对逆境条件的生态适应性[13-14]；栽培密度主要影响褐飞虱迁入虫量的再分配[15]。而水分管理对稻田褐飞虱迁飞影响的研究较少。灌溉方式作为优质晚稻生产中的重要栽培措施之一，其对褐飞虱及黑肩绿盲蝽迁飞的影响研究尚鲜见报道。本研究从不同灌溉方式入手，以湖南省益阳市为例设置半隔离与全隔离两种隔离方式，在“两减行动”(减化肥、减农药)的大背景下，研究生物防治下灌溉方式对优质晚稻褐飞虱及黑肩绿盲蝽迁飞的影响，从而为不同灌溉方式下优质晚稻褐飞虱的综合防控提供一定理论支撑。

1　材料和方法

1.1　试验区概况

田间试验于2013—2015年在湖南省益阳市赫山区笔架山乡中塘试验基地(28°29′N，112°30′E)进行，该地属亚热带大陆性季风湿润气候，年平均气温

16.5 ℃，年平均光照 1 560 h；年平均降雨量 1 465 mm，试验期间 2014 年和 2015 年降雨分布见图 1。试验田前茬作物为早稻，当茬作物为晚稻，晚稻品种为'湘晚籼 12 号'。土壤肥力均匀，生防区土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质及 pH 分别为 165.2 mg·kg^{-1}、6.57 mg·kg^{-1}、66.2 mg·kg^{-1}、33.7 g·kg^{-1}和 5.63，化防区分别为 174.3 mg·kg^{-1}、7.03 mg·kg^{-1}、62.1 mg·kg^{-1}、35.8 g·kg^{-1}和 5.42。

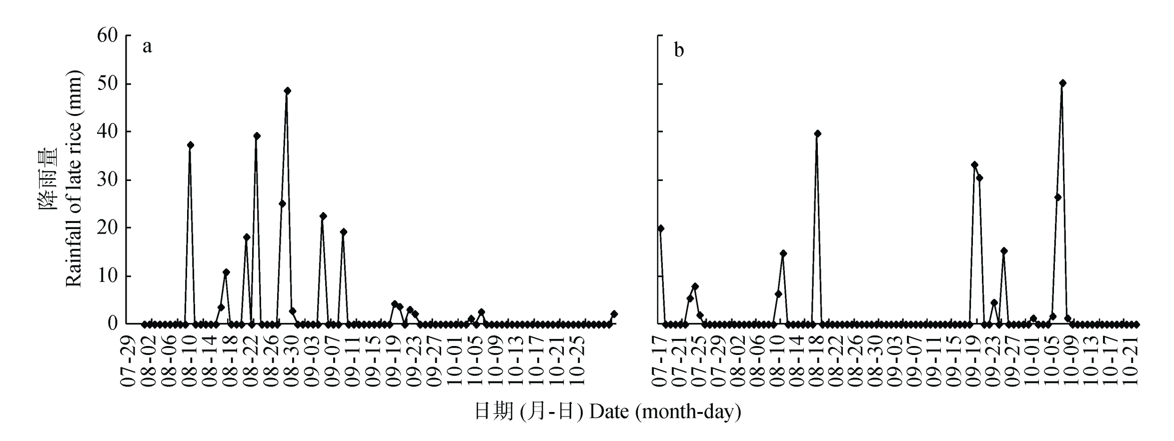


图 1　试验区 2014 年(a)和 2015 年(b)晚稻生长季降雨量分布

Fig. 1　Rainfall distribution during later rice growth season in the study area in 2014 (a) and 2015 (b)

1.2　试验设计

试验于 2013—2015 年的 7—11 月进行，2013 年为预备试验。

1)半隔离试验：设置长期灌溉、湿润灌溉、间歇灌溉、非充分灌溉 4 种灌溉方式。长期灌溉：全期田间保持 3~5 cm 水层，收割前 1 周断水；湿润灌溉：移栽和抽穗期保持 3~5 cm 水层，其余时期土壤持水量维持在 60%以上；间歇灌溉：移栽和抽穗期保持 3~5 cm 水层，抽穗期后干湿交替，收割前 1 周断水；非充分灌溉：除移栽期外，全生育期不人工灌水，靠自然降雨。试验区及周围区域均采取生物防治。小区面积为 100 m^2，全生育期不打农药，通过人工释放赤眼蜂及稻田天敌进行防治，各小区之间用尼龙纱窗网进行隔离，小区上部不隔离。

2)全隔离试验：小区上部用尼龙纱窗网(30 目×30 目)进行全隔离以防止天敌及害虫的迁入及迁出，其余设计同半隔离试验。

1.3　试验管理

2013 年、2014 年和 2015 年分别于 6 月 16 日、6 月 15 日和 6 月 17 日播种，水稻种子用 200 倍强氯精液浸种消毒，催芽后用旱育保姆拌种，每千克旱育保姆拌稻种 3.5 kg；用规格为 308 孔的育秧盆进行育秧，每盘播种量为 35 g 左右。2013 年于 7 月 17 日抛秧，菜饼 600.0 kg·hm^{-2} 及复合肥 800.0 kg·hm^{-2} (N∶P_2O_5∶K_2O= 15∶10∶15)作基肥施用，7 月 26 日用尿素 60.0 kg·hm^{-2} 和 KCl 140.0 kg·hm^{-2} 作追肥施用，8 月 19 日用尿素 20.0 kg·hm^{-2} 作穗肥施用；2014 年由于早稻持续降雨，导致早稻贪青晚熟，抛秧推迟至 7 月 26 日进行，追肥、穗肥分别于 8 月 4 日、8 月 26 日施加；2015 年于 7 月 17 日抛秧，追肥、穗肥分别与 8 月 3 日、8 月 23 日施加，2014—2015 年各时期的施肥种类及用量同 2013 年。2014 年和 2015 年分别于 8 月 13 日、8 月 15 日对小区进行隔离。生物防治区 2013 年于 8 月 11 日、9 月 7 日和 9 月 20 日，2014 年于 8 月 19 日、9 月 11 日和 9 月 28 日，2015 年于 8 月 13 日、9 月 5 日和 9 月 22 日均匀释放赤眼蜂，释放数量为 15 万·hm^{-2}，用于防治卷叶螟及二化螟，除用井冈霉素防治纹枯病外，水稻全生育期不使用任何农药。

1.4　调查方法

1.4.1　种群数量

抛秧 26 d 后，为最大程度保证小区生态系统不被干扰与破坏，采用无损直接目测法，每 8~10 d 调查一次，直至水稻收获为止。每个小区按五点取样法选择代表性 5 点，每点调查 10 丛水稻，然后统计百丛黑肩绿盲蝽及褐飞虱数量。

1.4.2　褐飞虱迁入量及迁出量

通过比较半隔离与全隔离的褐飞虱种群动态，找出褐飞虱的迁入及迁出时间段，全隔离试验区在迁入时段的褐飞虱增长量($X1$)即为褐飞虱通过自身繁殖所增加的种群数量，半隔离试验区在迁入时间段的褐飞虱增长量($X2$)为褐飞虱通过自身繁殖所增加的种群数量及迁入量之和；全隔离试验区在迁出时间段的褐飞虱消减量($X3$)即为褐飞虱自然死亡量、被捕食量及繁殖量的数量总和，半隔离试验区在迁出时间段的褐飞虱消减量($X4$)为褐飞虱自然死

亡量、被捕食量、繁殖量及迁出量的数量总和。假设在迁入与迁出时间段内，半隔离与全隔离条件下的褐飞虱自然死亡量、被捕食量及繁殖量相等，在迁出时间段内，半隔离与全隔离条件下的褐飞虱自然死亡量、被捕食量及繁殖量也相等，则可计算出迁入量($Y1$)=$X2-X1$，迁出量($Y2$)=$X4-X3$。迁入比($K1$)=$Y1/X2$，迁出比($K2$)=$Y2/X4$。

1.5　数据处理

采用 DPS 14.50 及 Microsoft Excel 2007 实用数据分析软件进行数据分析与作图。

2　结果与分析

2.1　温湿度对褐飞虱迁入及迁出的影响

结合图 2、图 3 和图 4 可知，2014 年试验区的褐飞虱在 9 月 15 日至 10 月 4 日迁入，而在 10 月 4 日至 27 日迁出。从图 3 可知 10 月 4 日(乳熟期)至 14 日(腊熟期)间，褐飞虱种群数量急剧下降，下降速率明显快于其他时期，而黑肩绿盲蝽种群表现出增加趋势，10 月 14 日至 27 日褐飞虱、黑肩绿盲蝽种群急剧下降。表明褐飞虱、黑肩绿盲蝽的迁出时期分别主要集中在水稻的乳熟期至腊熟期、腊熟期至成熟期。10 月 4 日至 12 日的气温均在 20 ℃以上，平均温度为 22.6 ℃，10 月 12 日的温度为 22.6 ℃，而 10 月 13 日、14 日的温度分别降至 18.6 ℃、18.8 ℃，取平均值为 18.7 ℃，且未有降雨发生，表明湖南益阳的褐飞虱迁出温度在 18.7 ℃左右(图 2)。2014 年褐飞虱迁入时期(9 月 15 日至 10 月 4 日)的平均相对湿度为 85.3%，且均在 80.0%以上，迁出时期(10 月 4 日至 27 日)为 77.3%，处于 67%~80%，特别是 10 月 4 日(乳熟期)至 14 日(腊熟期)间的平均相对湿度仅为 75.2%，10 月 12 日至 14 日的空气相对湿度波动不大，表明温度突然降低会迫使褐飞虱外迁，是稻飞虱外迁的主要因子。2015 年两种隔离方式下各灌溉处理的褐飞虱种群均显著低于 2014 年，且在整个水稻生育期未发生大的变化，其几乎不存在迁入及迁出，表明晚稻褐飞虱的迁入及迁出在不同年份间存在显著(P<0.05)差异，结合 2014 年及 2015 年两年的温度及降雨量数据可知，2015 年晚稻生育中后期的持续降雨及气温偏低导致褐飞虱未发生迁入，证明持续降雨会影响稻飞虱的迁入，并再次证明温度是影响褐飞虱迁入的主要因子。

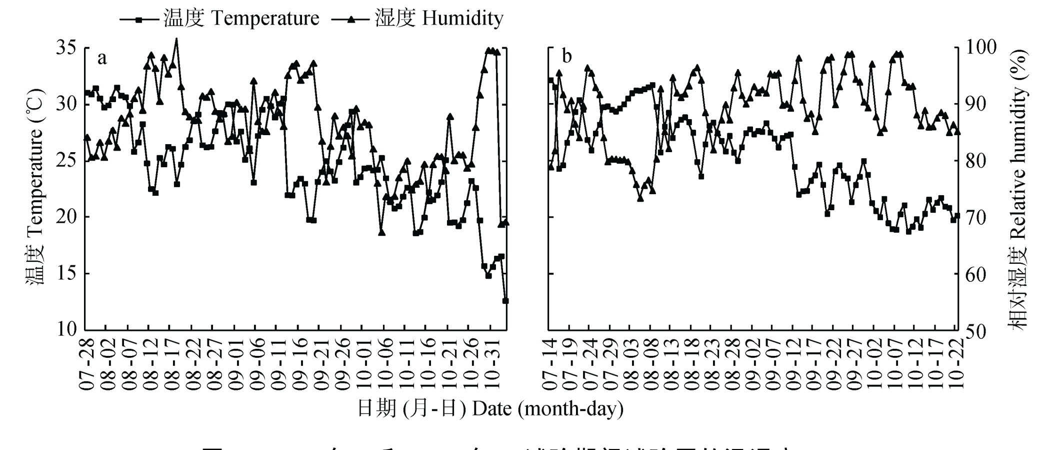


图 2　2014 年(a)和 2015 年(b)试验期间试验区的温湿度
Fig. 2　Temperature and humidity during the experiment periods in the study area in 2014 (a) and 2015 (b)

2.2　不同灌溉方式下褐飞虱迁入及迁出期

图 3 表明半隔离条件下，除长期灌溉外，间歇灌溉、非充分灌溉、湿润灌溉的褐飞虱数量最大值均高于全隔离褐飞虱数量最大值，且半隔离试验区在 9 月 15 日至 10 月 4 日种群数量呈爆发式增加，并显著(P<0.05)多于全隔离试验区，表明间歇灌溉、非充分灌溉、湿润灌溉在该时期是褐飞虱迁入的主要时期；而长期灌溉下，9 月 23 日，褐飞虱种群达到最大，且增长过程较缓慢，表明长期灌溉不利于晚稻褐飞虱的迁入。半隔离条件下的间歇灌溉、非充分灌溉、湿润灌溉在 10 月 4 日之后褐飞虱种群数量急剧下降，长期灌溉在 9 月 23 日后缓慢下降，而全隔离条件下在 10 月 3 日至 14 日各灌溉方式褐飞虱种群均表现出增加趋势，表明半隔离条件下长期灌溉褐飞虱发生外迁的时期要早于其他 3 种灌溉方式 11 d 左右，但迁出量低于其他 3 种灌溉方式。

2.3　不同灌溉方式黑肩绿盲蝽迁入及迁出期

黑肩绿盲蝽是一种重要的水稻远距离迁徙型天敌，且不能在湖南越冬[16]，因此，湖南早稻田黑肩绿盲蝽初始种群的构建均来源于外迁，晚稻田黑肩绿盲蝽初始种群的构建则来源于早稻收获后稻田周边生境的迁入及远距离迁入。由于 2015 年的黑肩绿盲蝽种群数量极少，故只对 2014 年黑肩绿盲蝽的迁

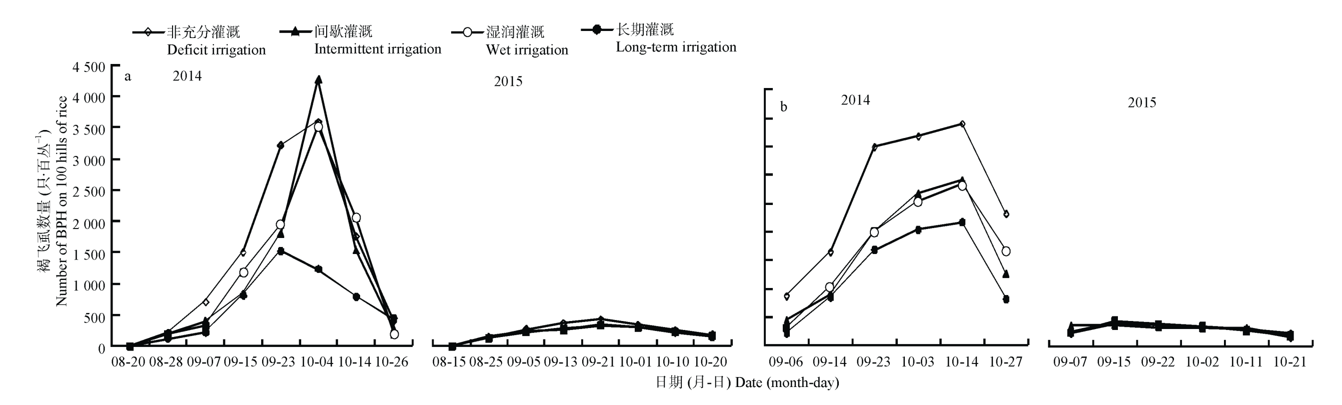


图 3 半隔离(a)和全隔离(b)条件下灌溉方式对褐飞虱种群动态的影响

Fig. 3 Effects of irrigation methods on *Nilaparvata lugens* (Stål) population dynamics under semi-isolated (a) and fully isolated (b) conditions

BPH 代表褐飞虱。BPH represents *Nilaparvata lugens* (Stål).

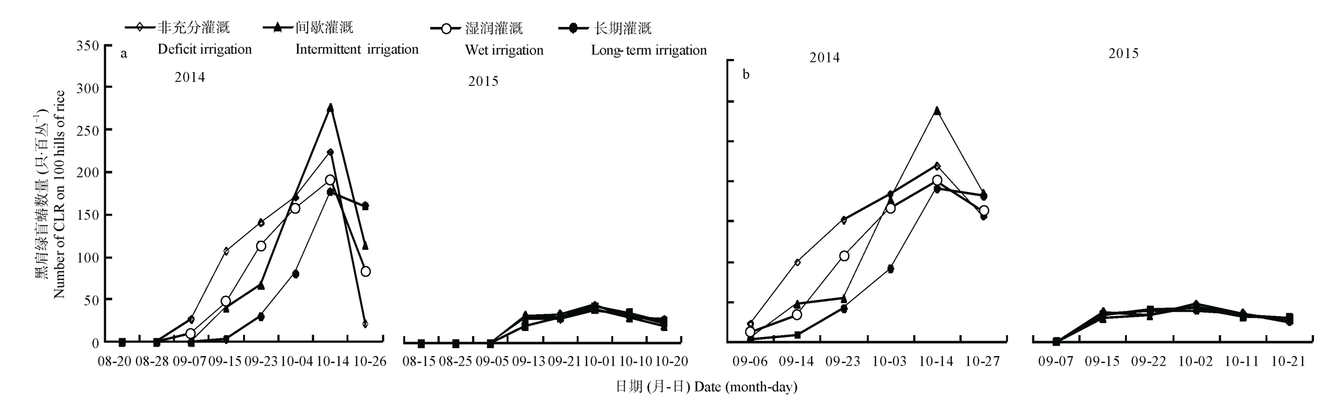


图 4 半隔离(a)和全隔离(b)条件下灌溉方式对黑肩绿盲蝽种群动态的影响

Fig. 4 Effects of irrigation methods on *Cyrtorrhinus livdipennis* (Reute) population dynamics under semi-isolated (a) and fully isolated (b) conditions

CLR 代表黑肩绿盲蝽。CLR represents *Cyrtorrhinus livdipennis* (Reute).

入及迁出进行分析。图 4 表明半隔离试验区 8 月 28 日前田间未见到黑肩绿盲蝽, 9 月 7 日非充分灌溉及湿润灌溉处理开始有少量迁入，间歇灌溉及长期灌溉 9 月 15 日开始有少量迁入，之后随着晚稻生育进程的推移而表现为先增后降的趋势, 4 种灌溉方式下的黑肩绿盲蝽种群数量均于 10 月 14 日(晚稻腊熟期)达最大，全隔离与半隔离试验区基本一致。10 月 14 日之后，非充分灌溉、间歇灌溉及湿润灌溉的种群数量急剧下降，长期灌溉则下降相对较缓，而全隔离条件下, 10 月 14 日之后各灌溉方式种群下降均较缓，表明 10 月 14 日之后黑肩绿盲蝽各灌溉方式间均发生了外迁，长期灌溉的迁出量显著(P<0.05)低于其他灌溉方式。

2.4 灌溉方式对褐飞虱迁入及迁出比的影响

由于 2015 年的褐飞虱发生情况极轻(图 3)，故只对 2014 年的褐飞虱迁入及迁出进行分析。表 1 表明：各灌溉方式间的迁入量($Y1$)表现为间歇灌溉>湿润灌溉>长期灌溉>非充分灌溉，间歇灌溉分别是非充分灌溉、湿润灌溉及长期灌溉的 31.8 倍、2.1 倍和 16.5 倍，其中间歇灌溉、湿润灌溉与非充分灌溉、长期灌溉间差异达显著水平，非充分灌溉与长期灌溉差异不显著；迁出量($Y2$)表现为间歇灌溉>湿润灌溉>非充分灌溉>长期灌溉，间歇灌溉分别是非充分灌溉、湿润灌溉及长期灌溉的 1.4 倍、1.1 倍和 5.8 倍；迁入比($K1$)在各处理间差异显著，表现为间歇灌溉>湿润灌溉>长期灌溉>非充分灌溉；间歇灌溉分别是非充分灌溉、湿润灌溉及长期灌溉的 19.4 倍、1.4 倍和 3.4 倍；迁出比($K2$)在各处理间差异显著，表现为湿润灌溉>间歇灌溉>非充分灌溉>长期灌溉；湿润灌溉分别是非充分灌溉、间歇灌溉及长期灌溉的 1.3 倍、1.1 倍和 1.8 倍。结果表明：灌溉方式对褐飞虱的迁入及迁出均产生显著影响。非充分灌溉迁入量及迁入比例最低；长期灌溉的迁入量显著低于湿润灌溉及间歇灌溉；间歇灌溉及湿润灌溉的迁入量、迁入比及迁出量均较高；长期灌溉的迁出量及迁出比均最低。

表 1　灌溉方式对褐飞虱迁入及迁出比的影响(2014 年)

Table 1　Effects of irrigation methods on the rate of immigration and emigration of rice *Nilaparvata lugens* (Stål)

number·(100 holes)$^{-1}$

处理 Treatment	*X*1	*X*2	*X*3	*X*4	*Y*1	*Y*2	*K*1	*K*2
非充分灌溉 Deficit irrigation	2 031a	2 083b	1 367a	3 190b	52c	1 823b	2.5d	57.1b
湿润灌溉 Wet irrigation	1 503b	2 310b	868b	3 303ab	807b	2 435a	34.9b	73.7a
间歇灌溉 Intermittent irrigation	1 768ab	3 423a	1 418a	3 990a	1 655a	2 572a	48.3a	64.5ab
长期灌溉 Long-term irrigation	603c	703c	634b	1 077c	100c	443c	14.2c	41.2c

同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05); *X*1、*X*2 分别代表全隔离及半隔离试验区在迁入时间段的褐飞虱增长量, *X*3、*X*4 分别代表全隔离及半隔离试验区在迁出时间段的褐飞虱消减量, *Y*1 代表迁入量, *Y*2 代表迁出量, *K*1 代表迁入比, *K*2 代表迁出比。Different lowercase letters in the same column mean significant differences at 0.05 level. *X*1, *X*2 represent increasing numbers of brown planthopper in fully- and semi-isolated test areas during immigration period respectively; *X*3, *X*4 represent reducing numbers of brown planthopper in fully- and semi-isolated test areas during emigration period, respectively. *Y*1, *Y*2, *K*1, *K*2 represent immigration number, emigration number, immigration rate and emigration rate, respectively.

2.5　灌溉方式对黑肩绿盲蝽迁入及迁出比的影响

表 2 表明, 半隔离条件下, 各灌溉方式间黑肩绿盲蝽的迁入量(*Y*1)无显著差异, 且小区内未发生黑肩绿盲蝽远距离迁飞沉降, 田间黑肩绿盲蝽种群的构建可能主要依靠田间周边生境中的迁入。迁出量(*Y*2)以非充分灌溉最大, 湿润灌溉、间歇灌溉次之, 长期灌溉最少, 非充分灌溉较湿润灌溉、间歇灌溉、长期灌溉分别增加 102.9%、127.2%和 1709.1%; 迁出比(*K*2)以非充分灌溉最大, 湿润灌溉、长期灌溉次之, 间歇灌溉最少, 非充分灌溉较湿润灌溉、间歇灌溉、长期灌溉分别增加 7.0%、83.4%和 49.7%。

表 2　灌溉方式对黑肩绿盲蝽迁入及迁出比的影响(2014 年)

Table 2　Effects of irrigation methods on the rate of immigration and emigration of *Cyrtorrhinus livdipennis* (Reute)

number·(100 holes)$^{-1}$

处理 Treatment	*X*1	*X*2	*X*3	*X*4	*Y*1	*Y*2	*K*1	*K*2
非充分灌溉 Deficit irrigation	196.6b	196.7b	63.0b	202.3a	0.1a	139.3a	0.0a	68.9a
湿润灌溉 Wet irrigation	188.5b	180.0b	38.0bc	106.7b	−8.5a	68.7b	−4.7b	64.4a
间歇灌溉 Intermittent irrigation	282.0a	276.7a	102.0a	163.3ab	−5.3a	61.3b	−1.9a	37.6b
长期灌溉 Long-term irrigation	187.0b	176.7b	9.0c	16.7c	−10.3a	7.7c	−5.8b	46.0b

同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05); *X*1、*X*2 分别代表全隔离及半隔离试验区在迁入时间段的褐飞虱增长量, *X*3、*X*4 分别代表全隔离及半隔离试验区在迁出时间段的褐飞虱消减量, *Y*1 代表迁入量, *Y*2 代表迁出量, *K*1 代表迁入比, *K*2 代表迁出比。Different lowercase letters in the same column mean significant differences at 0.05 level. *X*1, *X*2 represent increasing numbers of brown planthopper in fully- and semi-isolated test areas during immigration period respectively; *X*3, *X*4 represent reducing numbers of brown planthopper in fully- and semi-isolated test areas during emigration period, respectively. *Y*1, *Y*2, *K*1, *K*2 represent immigration number, emigration number, immigration rate and emigration rate, respectively.

3　结论与讨论

3.1　灌溉方式对褐飞虱迁徙的影响

稻飞虱是水稻主要的两迁害虫之一, 居水稻三大害虫之首, 温湿度及降雨量是影响稻飞虱迁飞的重要因子[17]。本研究表明: 湖南省益阳市的褐飞虱迁入平均温度为 25.0 ℃, 且不低于 23.0 ℃; 迁入的平均相对湿度为 85.3%, 且不低于 80.0%。而迁出温度平均为 21.6 ℃, 且不低于 18.5 ℃, 最适迁出温度为 18.7 ℃, 表现出低温促使褐飞虱外迁的趋势; 迁出的平均相对湿度为 77.3%, 湿度范围为 67%~80%。这与已报道的稻飞虱迁入桂林地区的地面温度为 19~30 ℃, 最适迁入温度为 24~29 ℃[8-9], 迁出的最低温度为 18 ℃且迁入及迁出的平均相对湿度均在 70%以上[7]基本一致。因此, 不同年份间, 由于温湿度及降雨等气候条件的差异, 会导致稻飞虱的迁入存在差异。江守林等[18]研究认为年均温和年降雨量与褐飞虱的发生危害面积和水稻产量损失之间相关不显著。而本研究发现不同年份间的褐飞虱发生情况差异较大, 其可能主要是因为气温偏低及频繁降雨影响了褐飞虱的迁入, 而本地繁殖的褐飞虱在稻田天敌的防控下得以完全控制。因此生产中化学农药的使用应根据当年的气候条件而定, 并结合田间调查, 尽量减少农药用量, 避免农药浪费, 减少环境污染, 这将有利于我国"两减"行动的进一步推进。

褐飞虱迁入后的防治是水稻虫害生态防控的一大难点。目前主要是通过物理防控、生物防控及转基因等措施进行防治[19-22]。同时前人从栽培角度也开展了较多研究, 但以科学施肥[23]、合理密植[15]居多。要将水稻褐飞虱控制在经济损失允许水平以下, 仅仅依靠某一种生态防控模式还难以实现, 而应集抗虫品种、栽培技术、生物防控及生态防控等方面进行技术集成, 才能对褐飞虱进行有效控制。灌溉方式作为水稻绿色防控中的重要栽培措施之一, 其

对褐飞虱迁入及迁出的影响尚不清楚。本研究表明：半隔离条件下长期灌溉的褐飞虱发生外迁时期要早于其他 3 种灌溉方式，但迁出量低于其他 3 种灌溉方式。灌溉方式对褐飞虱的迁入及迁出均达显著影响，非充分灌溉迁入量及迁入比例最低；长期灌溉的迁入量显著低于湿润灌溉及间歇灌溉；间歇灌溉及湿润灌溉的迁入量、迁入比及迁出量均较高；长期灌溉的迁出量及迁出比均最低。非充分灌溉迁入量及迁入比例最低，其主要是因为非充分灌溉的褐飞虱发生早，基数大，促进了褐飞虱种群的发展，使稻株在褐飞虱迁入前已经出现了营养不良而导致叶片变老变黄的症状，而稻飞虱具有明显的趋绿性、卵趋嫩性及栖息趋荫蔽性等特点[7]，从而导致非充分灌溉的褐飞虱迁入量最低。长期灌溉褐飞虱的迁入量显著低于湿润灌溉及间歇灌溉，其可能是因为长期灌溉条件下水稻冠层的生态环境不利于褐飞虱的降落，而长期灌溉的迁出量及迁出比均最低，其可能主要是因为长期淹水条件下水稻生育前期的褐飞虱发生轻，基数少，稻株生理特性几乎未受影响，保证了中后期稻株营养充足，为褐飞虱提供了较好生长繁殖条件；同时，可能是因为长期灌溉条件下的冠层湿度大而不利于褐飞虱的迁出，从而使得其迁出量及迁出比例均最低。同时，通过两年观测数据对比，发现 2014 年各灌溉处理间的褐飞虱迁入及迁出差异显著，而 2015 年无显著差异，因此，各灌溉方式下不同年份间的褐飞虱迁入及迁出差异较大，特别是干旱年份会加大褐飞虱的发生。本文只对各灌溉方式下褐飞虱迁飞差异进行了初步探讨，更深层次的原因还有待进一步研究。

3.2 灌溉方式对黑肩绿盲蝽迁徙的影响

黑肩绿盲蝽以成虫在热带和南亚热带稻区越冬，在湖南不能安全越冬[16,24]。黑肩绿盲蝽是褐飞虱的重要捕食性天敌，也是典型的两迁型稻田天敌之一，主要以刺吸褐飞虱的卵为主[25-26]。天敌种群的大规模伴迁现象表现出“天敌-寄主-植物”不同营养层之间的相互作用，具有重要的生态学和行为学意义[27]，黑肩绿盲蝽作为褐飞虱一种重要的伴迁天敌，对其伴迁现象一直缺乏系统研究。前人通过稻田系统调查、灯诱和及高山网捕等方法，发现黑肩绿盲蝽存在远距离迁飞的习性，其始见期稍迟于褐飞虱[11]，随后的迁飞期基本与褐飞虱同步[16,24]，通过空中网捕[28-29]、飞机网捕[2,30]以及海捕[31]等方法，再次证实了黑肩绿盲蝽的远距离迁飞习性。灌溉方式作为水稻绿色防控中的重要栽培措施之一，其对黑肩绿盲蝽迁入及迁出的影响尚不清楚。本研究表明：黑肩绿盲蝽的始见期要迟于褐飞虱，这与齐会会等[11]的研究结果一致。各灌溉方式下黑肩绿盲蝽的迁入量无显著差异，迁出量达显著差异，表现为非充分灌溉>湿润灌溉>间歇灌溉>长期灌溉，非充分灌溉的迁出量最大主要可能是因为非充分灌溉的褐飞虱发生早，为黑肩绿盲蝽迁入后提供了充分的食物来源，黑肩绿盲蝽种群得以较快构建，而水稻生育后期田间水分的亏缺及褐飞虱的大量外迁，促使黑肩绿盲蝽的外迁，这与胡国文等[32]发现黑肩绿盲蝽与褐飞虱共同存在可促进彼此的迁出基本一致。迁出比表现出非充分灌溉>湿润灌溉>长期灌溉>间歇灌溉，这与迁出量的表现趋势基本一致，长期灌溉的迁出比大于间歇灌溉主要是因为长期灌溉的褐飞虱发生轻，使得黑肩绿盲蝽种群数量较其他灌溉方式少，其迁出量虽然少于间歇灌溉，但由于黑肩绿盲蝽种群数量显著低于间歇灌溉，从而导致迁出比大于间歇灌溉。朱明华[24]认为黑肩绿盲蝽的繁殖速度较快，在迁入早、迁入量偏大的年份，对褐飞虱的控制作用非常明显。王召等[33]认为田间黑肩绿盲蝽与褐飞虱的种群发生存在同步性，水稻生长后期发生量较大。因此，在褐飞虱轻发生时，尽量减少化学农药的使用，使黑肩绿盲蝽能够顺利迁入稻田，充分发挥黑肩绿盲蝽对田间褐飞虱基数的控制作用；褐飞虱大发生时，需选择使用高效低毒农药或生物农药，尽可能减少用药次数和禁止使用高毒农药。这样既能有效控制褐飞虱的大发生，又能有效保护天敌，从而促进稻田生态系统的良性循环。

综上所述，褐飞虱及黑肩绿盲蝽的迁飞受气候影响较大，主要与温度及降雨有关，2015 年，由于晚稻生育中后期气温低及降雨频繁，褐飞虱及黑肩绿盲蝽未发生迁入。2014 年，晚稻生育中后期温度较高，褐飞虱及黑肩绿盲蝽发生迁飞。从迁入情况来看，非充分灌溉下褐飞虱发生早、基数大导致迁入量最低，仅为迁入量最大的间歇灌溉的 0.6%；间歇灌溉的迁入比(迁入量/迁入时段种群增加量)最大，分别是非充分灌溉、湿润灌溉及长期灌溉的 19.4 倍、1.4 倍和 3.4 倍；非充分灌溉及湿润灌溉下黑肩绿盲蝽的迁入时期要早于其他灌溉方式 8 d 左右。从迁出情况来看，长期灌溉下褐飞虱发生外迁的时期要早于其他灌溉方式 11 d 左右；间歇灌溉的迁出量最大，分别是非充分灌溉、湿润灌溉及长期灌溉的 1.4 倍、1.1 倍和 5.8 倍，湿润灌溉的迁出比(迁出量/迁出时段种群消减量)最大，分别是非充分灌溉、间歇灌溉及长期灌溉的 1.3 倍、1.1 倍和 1.8 倍；非充分灌溉下黑肩绿盲蝽的迁出量及迁出比均最大，较湿润

灌溉、间歇灌溉和长期灌溉分别增加 102.9%、127.2%和 1 709.1%，迁出比分别增加 7.0%、83.4%和 49.7%。表明非充分灌溉虽然减少了褐飞虱的迁入，但迁入前褐飞虱的种群增加量要远大于其他灌溉方式的迁入量，且会促进天敌黑肩绿盲蝽的外迁，增加了褐飞虱大发生的风险，不利于褐飞虱的综合防治；长期灌溉能有效降低褐飞虱的迁入及天敌黑肩绿盲蝽的外迁；湿润灌溉及间歇灌溉会促进褐飞虱的外迁，同时，间歇灌溉会显著($P<0.05$)减少天敌黑肩绿盲蝽的外迁。因此，在优质晚稻的生育中前期采用长期灌溉，而生育中后期采用间歇或湿润灌溉，预期可达到既减少褐飞虱的迁入，又促进褐飞虱的迁出，同时，又能减少黑肩绿盲蝽的外迁，从而使褐飞虱与天敌黑肩绿盲蝽种群维持在一个相对安全的范围内，有效发挥黑肩绿盲蝽的控稻虱作用，其具体影响机制还有待进一步研究。

参考文献　References

[1] 俞晓平，胡萃，Heong K L. 黑肩绿盲蝽在寄主植物、飞虱和叶蝉卵上的生长和发育[J]. 中国水稻科学，1996，10(4): 220–226
Yu X P, Hu C, Heong K L. Effects of various non-rice hosts on the growth, reproduction and predation of Mirid Bug, *Cyrtorhinus lividipennis* reuter[J]. Chinese Journal of Rice Science, 1996, 10(4): 220–226

[2] 邓望喜. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究[J]. 植物保护学报, 1981, 8(2): 73–82
Deng W X. A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (St. L) and *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae) by means of airplane collections[J]. Acta Phytophylacica Sinica, 1981, 8(2): 73–82

[3] 卢小凤，霍治国，申双和，等. 气候变暖对中国褐飞虱越冬北界的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(8): 1977–1983
Lu X F, Huo Z G, Shen S H, et al. Effects of climate warming on the northern distribution boundary of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål) overwintering in China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(8): 1977–1983

[4] 张花龙，杨念婉，李有志，等. 气候变暖对农业害虫及其天敌的影响[J]. 植物保护, 2015, 41(2): 5–15
Zhang H L, Yang N W, Li Y Z, et al. Impacts of global warming on agricultural pests and its natural enemies[J]. Plant Protection, 2015, 41(2): 5–15

[5] 史金剑，陈晓，陆明红，等. 2012 年盛夏多台风发生对褐飞虱迁飞动态的影响[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(3): 757–771
Shi J J, Chen X, Lu M H, et al. The effect of typhoons on the migration patterns of the brown planthopper in the summer of 2012[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2014, 51(3): 757–771

[6] 于彩霞，霍治国，张蕾，等. 中国稻飞虱发生的大气环流指示指标[J]. 生态学杂志, 2014, 33(4): 1053–1060
Yu C X, Huo Z G, Zhang L, et al. Leading indicators of atmospheric circulation characteristics on rice planthopper occurrence in China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(4): 1053–1060

[7] 唐基友. 永福县水稻两迁害虫发生发展的气象条件分析[J]. 南方农业学报, 2011, 42(5): 512–514
Tang J Y. Effect of meteorological conditions on migration and occurrence of two migrant insects in rice fields of Yongfu County[J]. Journal of Southern Agriculture, 2011, 42(5): 512–514

[8] 白先达，邹丽霞，李国刚，等. 水稻两迁害虫影响气象条件等级预报研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(12): 281–285
Bai X D, Zou L X, Li G G, et al. Study on meteorological conditions grade forecast for two migration of rice insects[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(12): 281–285

[9] 白先达，刘福洲，邹丽霞，等. 稻飞虱迁飞气象条件等级预报研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(12): 6303–6306
Bai X D, Liu F Z, Zou L X, et al. Study on the Meteorological conditions grade forecast for the migration of rice planthopper[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(12): 6303–6306

[10] 齐会会. "湘桂走廊"水稻两迁害虫的迁飞行为及重要天敌的种群动态研究[D]. 北京：中国农业科学院, 2014
Qi H H. Study on migration of rice two migration pests and population dynamics of important natural enemies in Xiang-Gui corridor[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014

[11] 齐会会，张云慧，王健，等. 稻飞虱及黑肩绿盲蝽在探照灯下的扑灯节律[J]. 植物保护学报, 2014, 41(3): 277–284
Qi H H, Zhang Y H, Wang J, et al. Rhythm of rice planthoppers and *Cyrtorhinus lividipennis* to the searchlight trap[J]. Acta Phytophylacica Sinica, 2014, 41(3): 277–284

[12] 秦小娃，张洁，袁凤辉，等. 以降低稻田生态系统脆弱性为主旨的褐飞虱综防措施[J]. 环境昆虫学报，2011，33(2): 250–256
Qin X W, Zhang J, Yuan F H, et al. Review on the integrated management of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphạcidae) aimed at reducing vulnerability of paddy agriculture ecosystem[J]. Journal of Environmental Entomology, 2011, 33(2): 250–256

[13] 程家安，祝增荣. 2005 年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析[J]. 植物保护, 2006, 32(4): 1–4
Cheng J A, Zhu Z R. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze Area, China in 2005[J]. Plant Protection, 2006, 32(4): 1–4

[14] 郑许松，陈桂华，徐红星，等. 温度和氮肥对褐飞虱存活、生长发育和繁殖的交互作用[J]. 应用生态学报, 2009, 20(5): 1171–1175
Zheng X S, Chen G H, Xu H X, et al. Interactive effects of temperature and nitrogen fertilizer on the survival, development, and reproduction of brown planthopper *Nilaparvata lugens*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(5): 1171–1175

[15] 张桂芬，鲁传涛，申效诚，等. 栽插密度、施氮量对水稻主要病虫害的综合生态效应[J]. 植物保护学报，1995，22(1): 38–44

Zhang G F, Lu C T, Shen X C, et al. The synthesized ecological effect of rice density and nitrogen fertilizer on the occurrence of main rice pests[J]. Acta Phytophylacica Sinica, 1995, 22(1): 38–44

[16] 陈常铭, 肖铁光, 胡淑恒. 黑肩绿盲蝽的初步研究[J]. 植物保护学报, 1985, 12(1): 69–73
Chen C M, Xiao T G, Hu S H. Preliminary study of *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter[J]. Journal of Plant Protection, 1985, 12(1): 69–73

[17] 侯婷婷, 霍治国, 李世奎, 等. 影响稻飞虱迁飞规律的气象环境成因[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 142–148
Hou T T, Huo Z G, Li S K, et al. Causes of meteorological environment influencing on migration of rice planthopper[J]. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(3): 142–148

[18] 江守林, 全银华, 黄珂毓, 等. 气候变化下山东稻区水稻重大害虫灾变规律及其防控评价——以郯城为例[J]. 生物灾害科学, 2014, 37(1): 20–25
Jiang S L, Quan Y H, Huang K Y, et al. Assessment on economic-yield loss caused by key pests of rice in paddy fields of Shandong Province — A case in Tancheng County[J]. Biological Disaster Science, 2014, 37(1): 20–25

[19] 彭晖, 王小玲, 孟建舒. 26%氟腈·唑磷 EC 防治水稻主要害虫田间药效试验初报[J]. 湖南农业科学, 2003(4): 47–48
Peng H, Wang X L, Meng J S. Control effect trial of 26% Fipronil·Trizophos EC to main pest in paddy field[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2003(4): 47–48

[20] 龙艳, 高兴华, 李红祥, 等. 频振式杀虫灯在水稻害虫防治中的应用与研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(15): 216–220
Long Y, Gao X H, Li H X, et al. Application and study of frequency-vibrancy pest-killing lamp during insect pest management in rice[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(15): 216–220

[21] 刘光杰, 沈君辉, 寒川一成. 中国水稻抗虫性的研究及其应用: 回顾与展望[J]. 中国水稻科学, 2003, 17(S1): 1–6
Liu G J, Shen J H, Sogawa K. Varietal resistance to insect pests in rice and its application in China: History and prospects[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2003, 17(S1): 1–6

[22] 罗淑萍, 黄寿山, 梁广文, 等. 水稻害虫治理措施的综合评价[J]. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2731–2737
Luo S P, Huang S S, Liang G W, et al. Comprehensive assessment on management measures of rice insect pests[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(12): 2731–2737

[23] 李超, 陈恺林, 刘洋, 等. 不同氮素水平对晚稻拟环纹豹蛛及稻飞虱种群动态的影响[J]. 湖南农业科学, 2014(20): 37–40
Li C, Chen K L, Liu Y, et al. Effects of different nitrogen rate on population dynamics of *Pardosa pseudoannulata* and planthoppers in late rice[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2014(20): 37–40

[24] 朱明华. 黑肩绿盲蝽的迁飞观察[J]. 昆虫知识, 1989, 26(6): 350–353
Zhu M H. Migration observation in *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter[J]. Chinese Bulletin of Entomology, 1989, 26(6): 350–353

[25] 吴光荣, 陈琇. 黑肩绿盲蝽的生物学特性及其捕食作用的研究[J]. 浙江农业大学学报, 1987, 13(2): 102–107
Wu G R, Chen X. Study on the biology of the Mirid *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter (Hemiptera: Miridae) and its essicacy as a predator[J]. Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis, 1987, 13(2): 102–107

[26] 陈常铭, 肖铁光, 胡淑恒. 黑肩绿盲蝽 *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter 生物学特性初步观察[J]. 湖南农学院学报, 1981(3): 15–20
Chen C M, Xiao T G, Hu S H. Preliminary observation on biological characteristics of *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter[J]. Journal of Hunan Agronomy, 1981(3): 15–20

[27] 翟保平. 天敌伴迁与生物多样性[J]. 生物多样性, 2001, 9(2): 176–180
Zhai B P. Accompanying migration of natural enemies and biodiversity[J]. Biodiversity Science, 2001, 9(2): 176–180

[28] Riley J R, Reynolds D R, Mukhopadhyay S, et al. Long-distance migration of aphids and other small insects in northeast India[J]. European Journal of Entomology, 1995, 92(4): 639–653

[29] Reynolds D R, Wilson M R. Aerial samples of micro-insects migrating at night over central India[J]. Journal of Plant Protection in the Tropics, 1989, 6(2): 89–101

[30] 邓望喜, 许克进, 荣秀兰, 等. 飞机网捕褐稻虱及白背飞虱的研究初报[J]. 昆虫知识, 1980, 17(3): 97–102
Deng W X, Xu K J, Rong X L, et al. Preliminary study of brown planthopper and white back planthoppe in aircraft netting[J]. Chinese Bulletin of Entomology, 1980, 17(3): 97–102

[31] 刘浩光, 刘振杰, 祝为华. 我国海上网捕褐稻虱的结果[J]. 昆虫学报, 1983, 26(1): 109–113
Liu H G, Liu Z J, Zhu W H. Consequence of brown planthopper in marine netting of China[J]. Acta Entomologica Sinica, 1983, 26(1): 109–113

[32] 胡国文, 马巨法, 韩娟. 黑肩绿盲蝽成虫迁出习性观察[J]. 昆虫知识, 1995, 32(6): 357–359
Hu G W, Ma J F, Han J. Observation on the adult habits of *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter)[J]. Chinese Bulletin of Entomology, 1995, 32(6): 357–359

[33] 王召, 杨洪, 汪学俭, 等. 贵州喀斯特稻区黑肩绿盲蝽种群发生规律研究[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(4): 464–469
Wang Z, Yang H, Wang X J, et al. Population dynamics of *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter) in Karst rice-planting areas in Guizhou[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2011, 27(4): 464–469